

柿岡の変換函数(第二報)

— 経年変化の再評価 —

白木正規・柳原一夫

概 要

著者の一人(柳原 1972)によって見出された、柿岡の変換函数の経年変化について、Everett and Hyndman (1967)によって開発されたパワースペクトル解析を用いる方法によって評価しなおした。再評価の結果においても、1920年から1940年にかけて、変換函数に大きな変化がみられ、従来の方法で得られた結果を支持している。

地下の電気伝導度の分布に原因があると考えられている地磁気短周期変化の鉛直成分 ΔZ の異常は、水平成分 ΔH と偏角 ΔD との間に、近似的に、

$$\Delta Z = A\Delta H + B\Delta D \quad (1)$$

という一次式で記述される。この A と B は、観測点に固有で、周期に依存した函数である。そして、一般には、複素数の函数であり、変換函数 (Transfer functions) と呼ばれている。柿岡の変換函数については、先の論文(白木・柳原 1975)で、周期 15分~120分の範囲で求められている。この変換函数に関して、地震と関連して時間的に経年変化するという事実が、最近、著者の一人(柳原 1972)によって見出された。この事実は、地磁気変化を地震予知に利用するうえで非常に重大な発見であり、それらの間の関連性を更に確かにしてゆくことが必要である。ところで、この変換函数の経年変化を調べる際に用いられた方法は、従来用いられてきている方法(沢山の孤立した短周期現象の変化の最大振幅を読み取り、最小自乗法を用いて (1) 式に最もよくあうように A と B を決める方法)であり、地磁気変化の周期や成分による位相の違いという点について必ずしも十分な考慮がなされていない。これらの点については、Everett and Hyndman (1967)によって開発されたパワースペクトル解析を用いる方法によって解決できる。先の論文(白木・柳原 1975)では、この方法によって1969年と1970年の資料から柿岡の変換函数を求め、従来の方法で得られている A と B の値との比較から、周期によって結果にかなりの違いがみられることがわかった。そこで、この論文では、Everett and Hyndman の方法によって柿岡の変換函数の経年変化について評価しなおしてやることにした。この方法で変換函数を求める場合には、磁気嵐のような連続した地磁気擾乱を用いるので、従来の方法による解析で用いられた資料と同じでない。このため、今回の解析では、解析方法と用いる資料の両方から変換函数の経年変化を再評価することになる。

変換函数を計算するために用いた磁気嵐は、1917年、1920年および1924年から1974年までの1年につき1個の磁気嵐である。柿岡における地磁気変化観測は1913年から開始され

たが、1923年9月の関東大震災によって、1923年までの記録紙を焼失してしまった。しかし、幸いにして、1917年と1920年については、主な磁気嵐の写しが年報として残っているのでこれを用いた。1924年から1974年までは、年報にのせられている磁気嵐のリストから1年につき1個の磁気嵐を選び、生の記録紙から読み取りを行った。第1表には、これらの53個の磁気嵐の日付がのせられている。磁気嵐を選ぶに際しては、一枚の記録紙(UTで1

Table 1. List of geomagnetic storms.

Year	Date	Year	Date	Year	Date
1917	Dec. 17	1940	May 24	1958	Sep. 25
1920	Mar. 24	1941	Dec. 1	1959	Sep. 21
1924	June 10	1942	Oct. 29	1960	Sep. 4
1925	Sep. 21	1943	Aug. 31	1961	Mar. 10
1926	Apr. 15	1944	Dec. 17	1962	Oct. 1
1927	Apr. 14	1945	Apr. 1	1963	Sep. 14
1928	May 28	1946	Mar. 25	1964	Jan. 2
1929	Mar. 12	1947	Mar. 3	1965	June 16
1930	June 16	1948	Oct. 2	1966	Mar. 23
1931	Oct. 29	1949	Mar. 22	1967	Sep. 21
1932	May 29	1950	Oct. 29	1968	Feb. 11
1933	May 1	1951	Sep. 20	1969	Feb. 11
1934	Sep. 25	1952	Mar. 5	1970	Nov. 21
1935	Mar. 14	1953	Sep. 19	1971	Mar. 13
1936	Dec. 28	1954	Oct. 24	1972	Apr. 29
1937	Apr. 28	1955	Nov. 19	1973	Mar. 21
1938	Sep. 15	1956	May 16	1974	Mar. 21
1939	Oct. 14	1957	Mar. 10		

日分)の上で、なるべく擾乱が連続しているもの、また、読取り間隔(3分)の点から、10分~120分の周期の変化がなるべく卓越しているもの、を選んだ。このため、選んだ磁気嵐の時間的な間隔は、約3か月から21か月の開きがある。

選ばれた磁気嵐の変化は、3分ごとにUTで1日分(各成分につき480個)の読取りを行った。この読取り値に記録紙の寸法値をかけ、ハイパスフィルターとプレホワイトニングフィルターを通した。次に、自己相関関数と相互相関関数を求め、これらをフーリエ変換することによってオートパワースペクトルとクロスパワースペクトルを計算した。得られたパワースペクトルに、プレホワイトニングフィルターの逆処理を行ってから、Everett and Hyndmanによって示された式に従って変換関数の計算を行った。実際の計算の詳細については、先の論文に記述されている。

53個の磁気嵐から得られた変換関数のうち、周期60分についての時間的な変化が第1図に示されている。この図で、変換関数のAとBの実数部にはu、虚数部にはvという記号がつけて示されている。解析した期間に、 A_u は0.20~0.75、 B_u は-0.13~0.38、 A_v は-0.23~0.37、 B_v は-0.18~0.07の範囲で変化している。この変化には、解析方法など

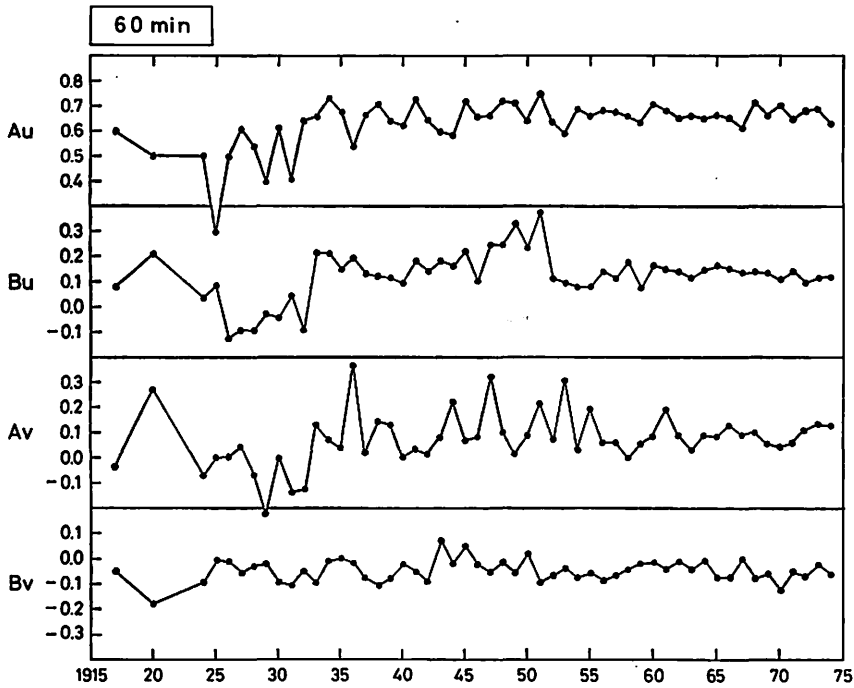


Fig. 1. Yearly changes of the transfer functions at Kakioka for the period of 60 minutes.

が原因と考えられるかなり大きいばらつきが含まれている。先の論文では、1つの磁気嵐の解析から得られる変換函数の信頼度が調べられた。これは周期によって異なり、60分の周期では95%の信頼区分が約 ± 0.1 である。しかし、1950年代の前半までの観測状態は、変換函数の信頼度を調べた1969年や1970年と比べて余り良好ではない。このため、1950年代の前半までの変換函数の信頼区分は、 ± 0.1 よりもっと大きいものと思われる。観測状態の良否は、例えば、記録紙の寸法値が目安になる。第2図は、解析に用いた磁気嵐の記録紙の寸法値を図示したものである。1950年代の前半までの記録紙の寸法値は、最近(1950年代の後半以降)の寸法値の約1.5~4倍である。この図で、それぞれの点につけられた縦の線は、その年の寸法値の最大値と最小値を結んだものであり、変化計の安定度の目安となるであろう。特に、Z成分の変化計は、1952年まであまり安定でなかったことが明らかである。

1個の磁気嵐から得られる変換函数の信頼区分を考慮に入れば、第1図の年々の変化は、主として解析方法などが原因であるばらつきと考えられる。しかし、このばらつきを考慮に入れても、1920年代から1940年代にかけて系統的に変化している様子がみられる。そこで、10年の移動平均をかけて、年々のばらつきを除いた変化をみると第3図のようになる。図の移動平均を示す変化につけられている縦の線は、個々の平均値を計算するとき、計算上得られた95%の信頼区分である。これは、変換函数が時間的に変化している時期には、実際の信頼区分よりも大きな値を示すことになる。第3図で、1920年代から1940年代にかけて、

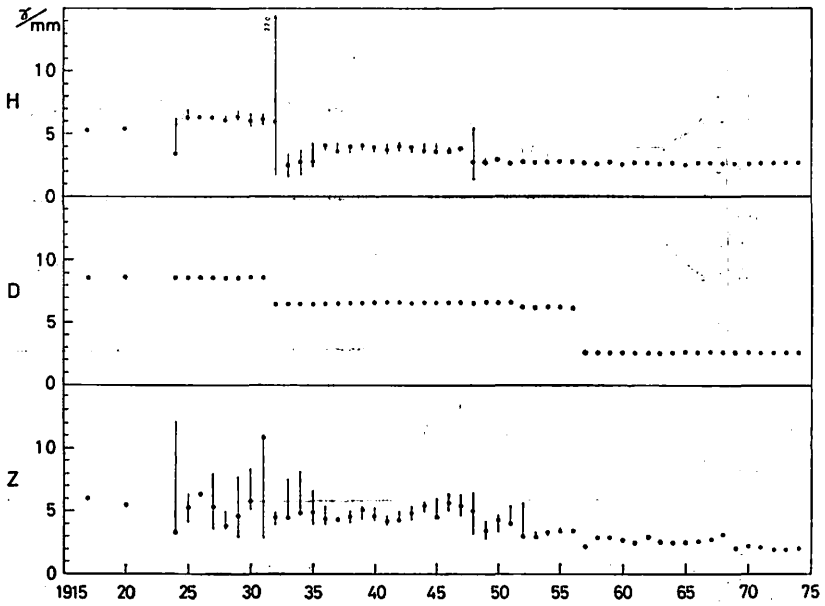


Fig. 2. Adopted scale values of the magnetograms used for the present analysis. A straight vertical line on each point means the difference of maximum and minimum scale values for the year.

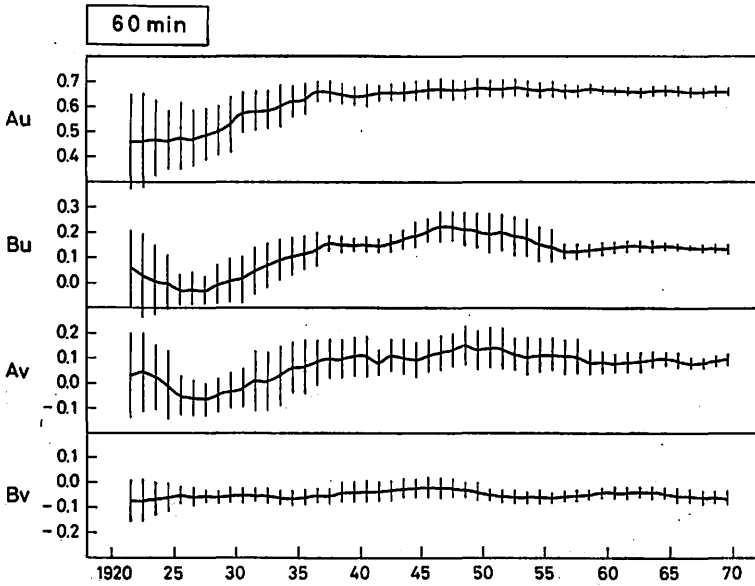


Fig. 3. Ten-year running averages of the transfer functions at Kakioka for the period of 60 minutes. Straight vertical lines on the curves are 95% confidence intervals.

B_u を除いて変換函数の大きな変化が明らかである。ここで図は示さないが、他の周期についても、移動平均の結果は、第3図の場合と同じような傾向の変化が得られている。ただし、周期が15分程度になると、年々の変化のばらつきが周期60分のものに比べて大きく、移動平均の結果につけられた信頼区間もかなり大きい。これは、周期の短い方では、変化のワースペクトルの大きさが小さく、読取り誤差が大きくなるためと思われる。また、周期に比べて現象の継続時間が長くなるので、(1)式にあてはまらない変化による誤差も大きくなるためであろうと思われる。

第1図で、変換函数の実数部の A_u と B_u は、従来の方法で得られた A と B にあたる。第4図には、今回の解析結果と、著者の一人によって従来の解析方法で得られた結果をまとめて示してある。従来の解析方法による結果は、ほぼ5年間ごとの ssc や si から変換函数を計算しているので、資料を用いた期間に対して横線で示してある。更に、この図には、一部の期間について、1年ごとのすべての孤立した現象から、久保木・吉松(1973)によって従来の方法で得られた結果も同時にのせられている。年々の変化では、これらの解析結果の間でかなり大きな違いのみられるところもある。この個々の年の違いは、解析方法の違い、用いた資料の違い、あるいは、対象とした周期の違いによるものと思われる。しかし、全体的な経年変化の傾向はどの結果についても同じである。これは、変換函数が1920年代から1940年代にかけて実際に変化したことを示すものであろう。ただ、これらの解析は、同じ変化計から得られた資料による解析であるから、変化計の寸法値の信頼性に原因のある可能性が残されている。第1図と第2図から、変換函数に変化のみられた期間は、変化計の安定した期間でなく、寸法値の変化が著しい期間である。しかし、第1図の変化量は寸法値の不

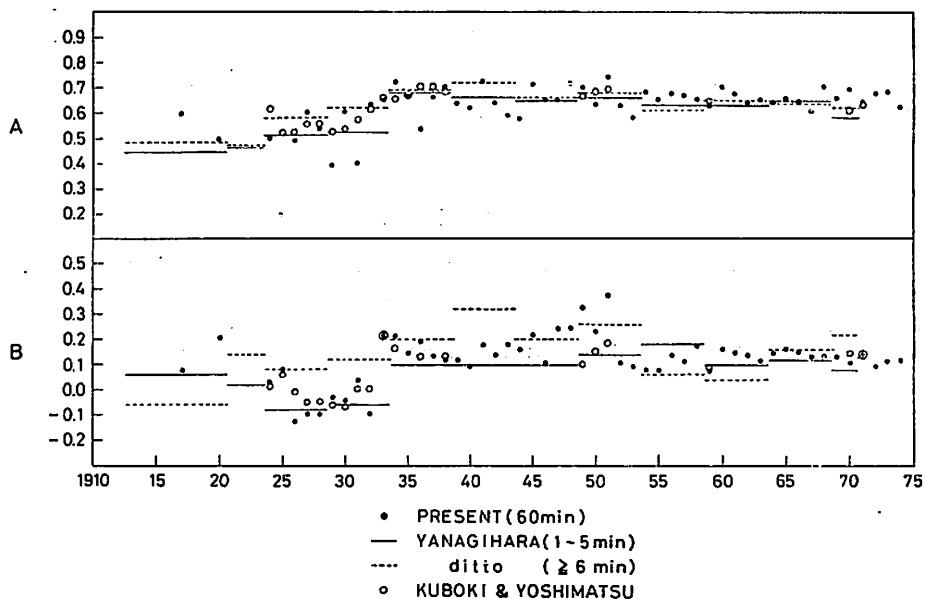


Fig. 4. Superposed representation of the present result and the previous ones (Yanagihara 1972, Kuboki and Yoshimatsu 1973).

正確さで考えるには余りに大きい。また、寸法値に原因があるなら、 A_u と A_v 、 B_u と B_v 、あるいは、これらのすべての間に相関が見られなければならないが、第1図でこのような相関はみられない。また、寸法値の信頼性が系統的に経年変化するというのも考えにくい。

再評価の結果から、変換函数は実際に経年変化したと考えられるが、地震との関連性については明らかでない。1920年代から1940年代にかけて変換函数が大きく変化したことと、1923年の関東大地震 (M 7.8) との間に関連があるならば、その後起きた地震 (関東地方において、 M 7.0以上の地震は、1930年の北伊豆地震 $M=7.0$ 、1931年の西埼玉地震 $M=7.0$ 、1953年の房総沖地震 $M=7.5$ がある) に関連した変換函数の変化がみられてもよいはずであるが、第1図や第3図にそのような変化はみられない。しかし、これは関東大地震が、震源域の電気的構造と震源域までの距離に関して、柿岡の変換函数に変化を及ぼすような地震の型であって、その後の地震はそのような関係にないか、あるいは、関係があってもこの解析で検出できない程度の大きさの変化しかもたらさない地震の型と考えることができる。このため、地震と変換函数の変化との関連性を明らかにするためには、関東大地震の震源に近いが、ずっと規模の小さい地震 (これに対応した変換函数の変化量や変化の継続時間も小さいと思われる) や、地震の規模は大きくても柿岡の変換函数に及ぼす変化量が小さい地域の地震 (この場合には、変換函数の変化のし方が、関東大地震と同じ地域に震源をもった地震の場合とは異っている可能性がある) に対しても、変換函数の変化を検出できるように、変換函数の精度や時間的な分解能をあげなければならない。今回の解析のように、1年につき1個の磁気嵐の解析では、10年以上にわたってかなり大きな変化がないと検出できないようである。先の柳原 (1972) の解析では、1940年ごろから A の値が徐々に小さくなっているという結果が得られ、地震予知の可能性が示された。しかし、今回の解析結果からは、 B_u を除いて、1940年以降に変化はないとみてよいようである。 B_u については、1950年前後に少し値が大きくなっている。これが、実際の変化か、解析誤差かわからない。今後、検討を要する期間であろう。

参 考 文 献

- 1) Everett, J.E. and R.D. Hyndman (1967): Phys. Earth Planet. Interiors, 1, 24-34.
- 2) 久保木忠夫・吉松隆三郎 (1973): 日本における CA 研究, 99-103.
- 3) 白木正規・柳原一夫 (1975): 地磁気観測所要報, 16, No. 2, 143-155.
- 4) Yanagihara, K. (1972): Mem. Kakioka Mag. Obs., 15, No. 1, 1-11.

Transfer Functions at Kakioka (Part II)
Reevaluation of Their Secular Changes

Masanori SHIRAKI and Kazuo YANAGIHARA

Abstract

The secular change of the transfer functions at Kakioka, which was found by one of the present authors (Yanagihara 1972), has been reevaluated by the method of power spectrum analysis developed by Everett and Hyndman (1967). Fifty-three geomagnetic storms (one per year from 1917 to 1974 excluding five years) have been analysed by this method and the secular change of the transfer functions has been confirmed.